Heute:

Multi-Agenten-Systeme

Harmonie
und
Wettbewerb

Vortrag von Martin Scholz

Seminar

„Lernende Agenten fürs WWW“

Wintersemester 1998/99

Universität Dortmund

Leiterin: Prof. Morik

Literatur:

Multi-Agenten in Harmonie

[1] **Anytime Coalition Structure with Worst Case Guarantees**
von: Thomas Sandholm, Kate Larson, Martin Andersson, Onn Shehory, Fernando Tohme

Multi-Agenten im Wettbewerb

[2] **Learn Your Opponent's Strategy (in Polynomial Time)!**
von: Yishay Mor, Claudia V.Goldman, Jeffrey S. Rosenschein

[3] **Bounded complexity justifies cooperation in finitely repeated prisoner's dilemma.**
Economic Letters, Seiten 227-229, 1985
von: A. Neyman

[4] **Finite automata play the repeated prisoner's dilemma.**
ST/ICERD Discussion Paper 85/109,
London School of Economics, 1985.
von: A. Rubinstein

[5] **Games and Information**
von: Rasmusen, Eric

[6] **An Introduction to Computational Learning Theory**
von: Michael J. Kearns, Umesh V. Vazirani

[7] **Operations Research**, Skript zur Vorlesung im WS 98/99 des Lehrstuhls 2, FB Informatik der Universität Dortmund

Anytime Coalition Structure Generation with Worst Case Guarantees

Thema: Koalitionsbildungsverfahren

Situation:

- zunehmende Vernetzung
- Agenten verschiedener Organisationen können online kommunizieren.
- Planung wird automatisiert.
- Im wirtschaftlichen Bereich ist man oft an Koalitionen interessiert.

  → Die Angebotspalette kann erweitert werden.

  → Die Marktposition verbessert sich.

  → Es können Kosten eingespart werden.

  → Es können mehr Aufträge angenommen werden.

Beispiel:

mehrere Anbieter vereint in einem virtuellen Einkaufszentrum

(+) größeres Angebot → Die Bestellmenge der Anbieter erhöht sich.
(–) unseriöse Angebote → schlechter Ruf schadet allen Anbietern
(–) unausgewogenes Angebot schreckt Kunden ab

⇒ Koalitionen können gut oder schlecht sein !

Abstraktion:

Mehrere Einzelparteien sehen die Möglichkeit profitabler Koalitionen.

Vertraglich gesicherte Seitenzahlungen ermöglichen eine gerechte Aufteilung des Profits.

Der Gesamtprofit soll maximiert werden.

Modell

- Multi-Agenten-Umgebung mit Möglichkeit zur Koalitionsbildung
- Jeder Agent soll in genau einer Koalition sein.
- Jede Koalition besitzt einen festen (endlichen) Nutzenwert.
- Ressourcen für die Suche nach guten Koalitionen seien beschränkt.
- gesucht: Lösung mit (möglichst) maximalem Gesamtnutzen

Definitionen

A bezeichne die Menge aller Agenten.

Definition 1:

Eine **Koalition** ist eine nicht leere Teilmenge von A.

Definition 2:

Eine **Koalitionsstruktur** ist eine Menge von Koalitionen, die eine disjunkte Zerlegung (oder Partition) von A bilden.

Definition 3:

Die **Nutzenfunktion V**: $\wp(A) - \{\emptyset\} \rightarrow \mathbb{R}$ weist jeder möglichen Koalition einen festen Nutzen zu.

Der Nutzen einer Koalitionsstruktur $C_S = \{S_1, \ldots, S_n\}$ ist $\Sigma_{1 \leq i \leq n} V(S_i)$. $V(C_S)$ sei für alle Koalitionsstrukturen C_S effizient berechenbar.

Bemerkungen:

1) Es besteht die Möglichkeit kontraproduktiver Koalitionen.
   Falls allerdings bekannt ist, daß für alle Koalitionen S und S‘ gilt:

$$V(S) + V(S') \leq V(S \cup S'),$$

   so ist die Koalitionsstruktur {A} optimal und das Problem trivial.

2) Die Annahme $V(C_S) \geq 0$, für alle Koalitionsstrukturen C_S, stellt keine Einschränkung dar :

   Negative Nutzenwerte können, durch Umformung in ein strategisch äquivalentes Problem, eliminiert werden.

Zur Erinnerung:

Bei komplexen Optimierungsproblemen beschränkt man sich häufig auf die Suche nach einer möglichst guten Lösung.

- Die Lösung soll schnell zu finden sein.

- Der Wert der Lösung soll nur um einen kleinen Faktor vom Wert einer optimalen Lösung verschieden sein. Dieser Faktor heißt Güte.

- Die Güte der Lösung bei Maximierungsproblemen ist definiert als:

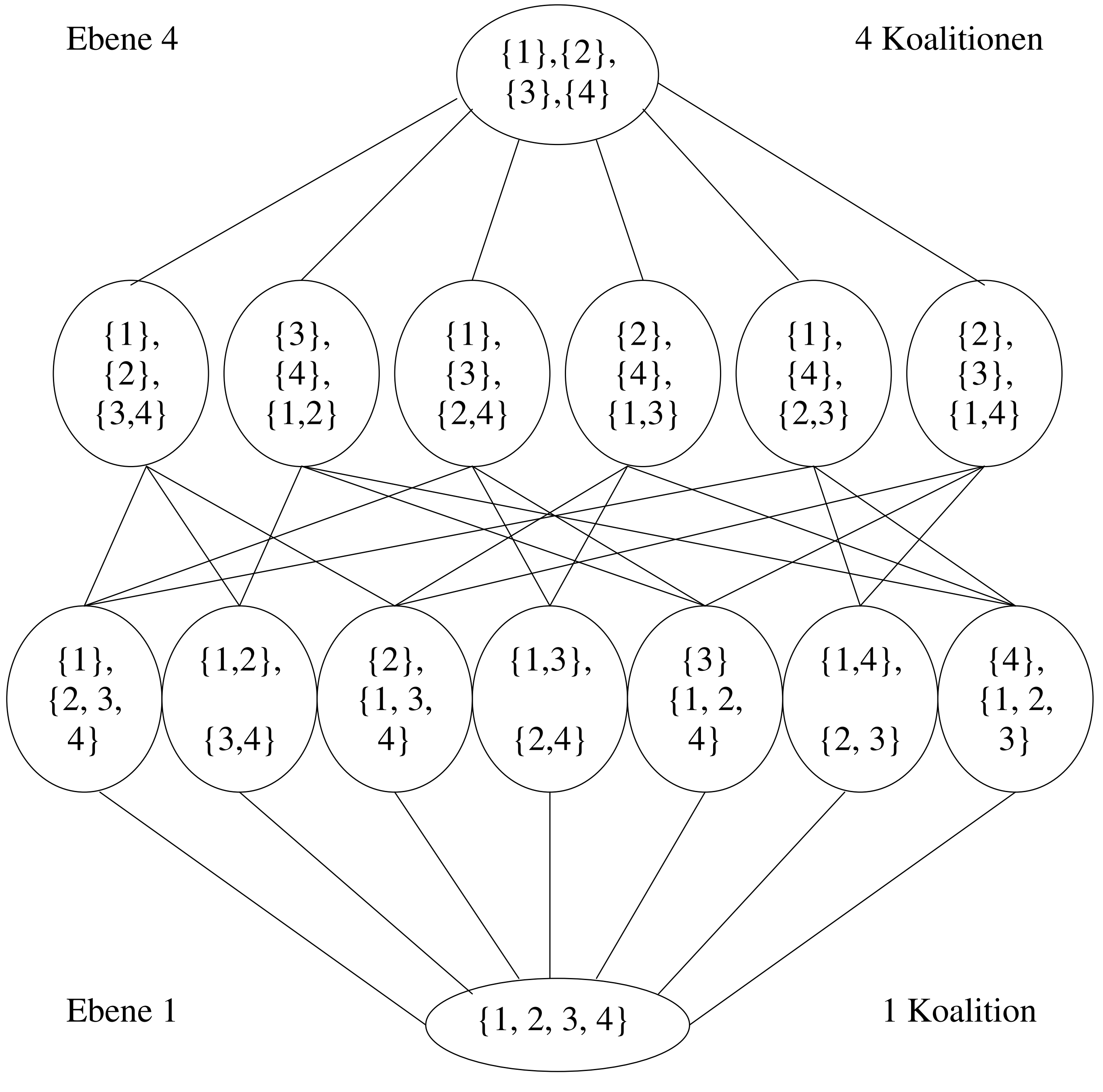
$$R_A(I) = OPT(I) / w(A(I))$$

  $w(A(I))$: Wert der Lösung von Algorithmus A zur Eingabe I
  $OPT(I)$: Wert einer optimalen Lösung.

- Ein Wert k ist obere Schranke für die Güte, wenn für alle gültigen Eingaben I gilt: $k \geq R_A(I)$

Wie effizient ist das Koalitionsbildungs-Problem lösbar / approximierbar ?

Darstellung der möglichen Lösungen im Koalitionsstruktur-Graphen:



- Koalitionsstrukturgraph für A = {1, 2, 3, 4} -

Bemerkungen zum Koalitionsstruktur-Graphen

- Zu jeder Koalitionsstruktur enthält der Graph genau einen Knoten.
- Knotenmenge wird disjunkt auf Ebenen 1 bis $a := |A|$ aufgeteilt.
- Ebene e enthält genau die Koalitionsstrukturen C_S mit $|C_S| = e$.
- Der Graph enthält $\Omega(a^{a/2})$ Knoten. Eine vollständige Suche dauert also evtl. sehr lange und sollte möglichst vermieden werden!

Endliche worst-case Güte nach partieller Suche

Theorem 1:

Um sicher eine Lösung mit endlicher Güte zu finden, genügt es, die untersten zwei Ebenen des Koalitionsstruktur-Graphen zu durchsuchen und die beste gefundene Lösung zu wählen. Bei dieser Suche werden 2^{a-1} Knoten betrachtet und die worst-case Güte k beträgt a.

Im folgenden verwendete Variablen:

A	Die Menge der Agenten.
a	Die Anzahl der Agenten.
S	Symbol für eine Koalition.
CS	Symbol für eine Koalitionsstruktur.
CS*	Eine Koalitionsstruktur mit maximalem Nutzen.
N	Koalitionsstrukturen im Suchraum einer partiellen Suche
n	$\lvert N\rvert$ (Anzahl betrachteter Knoten im Graphen)
n_{min}	Minimales n um Approximationsgüte k zu garantieren.
CS^*_N	CS mit höchstem Nutzen in N.
V(S)	Nutzen der Koalition S.
V(CS)	Nutzen der Koalitionsstruktur CS.
k	worst-case Güte
m	Anzahl aller Knoten des Koalitionsstruktur-Graphen

Beweis von Theorem 1:

Partielle Suche : Durchsuche Ebene 1 und 2 vollständig !

- Ebene 1 enthält nur die große Koalition.
- Ebene 2 enthält alle Koalitionsstrukturen, bei denen A in 2 disjunkte Teilmengen zerlegt wird.

$\Rightarrow$ Alle Koalitionen sind in einem betrachteten Knoten vertreten.

Außerdem: CS* kann höchstens a Koalitionen enthalten.

Es folgt:

$$V(CS^*) \leq a * \max_S V(S) \leq a * \max_{CS \in N} V(CS) = a * V(CS^*_N)$$

Damit ergibt sich

$$k := a \geq V(CS^*) / V(CS^*_N)$$

als worst-case Güte des Suchverfahrens.

Anzahl betrachteter Knoten:

- Ebene 1 enthält genau einen Knoten.
- Ebene 2 enthält genau die Koalitionen $\wp(A) - \{ \emptyset, A \}$.

  Jeder Knoten dieser Ebene enthält genau 2 Koalitionen.

  $\Rightarrow$ Ebene 2 enthält $\frac{1}{2}(2^a - 2) = 2^{a-1} - 1$ Knoten

Insgesamt werden also 2^{a-1} Knoten betrachtet.

Theorem 2:

$k = a$ ist die kleinste obere Schranke für die Güte der in Theorem 1 vorgestellten partiellen Suche.

Beweis von Theorem 2:

Hier genügt die Angabe eines Beispiels:

Es sei $V(S) = 1$ gdw. $|S| = 1$ und $V(S) = 0$ sonst.

Dann ist $CS^* = \{\{1\}, \{2\}, ..., \{a\}\}$ und $V(CS^*) = a$.

$V(CS^*_N) = 1$, denn :

- Alle Koalitionsstrukturen der 2.Ebene haben Nutzen 1.
- Die große Koalition besitzt den Nutzen 0.

Die Güte von CS^*_N ist

$$V(CS^*) / V(CS^*_N) = a / 1 = a.$$

Theorem 3:

a) Keine partielle Suche, die weniger als 2^{a-1} Knoten betrachtet, kann eine endliche Güte garantieren.

b) Es existiert keine partielle Suche, die anders vorgeht, als die beiden untersten Ebenen vollständig zu durchsuchen, die mit $n = 2^{a-1}$ eine endliche Güte garantiert.

Beweis von Theorem 3a) :

Annahme:

Für eine partielle Suche existiert eine Koalition S, die in keinem Knoten in N vorkommt.

Dann könnte $V(S) = 1$ und für alle Koalitionen $S' \neq S$ $v_{S'} = 0$ sein.

Die Güte wäre $V(CS^*) / V(CS^*_N) = 1 / 0$.

⇒ Es muß jede Koalition in einem Knoten in N enthalten sein, um eine endliche Güte garantieren zu können.

Die Koalition A kommt nur auf dem einzigen Knoten der Ebene 1 vor. Dieser Knoten muß damit in N enthalten sein.

Angenommen in N fehlen p Knoten der 2. Ebene, wobei $p \geq 1$.

Dann müssen 2p Koalitionen mit anderen Knoten überdeckt werden, da alle auf Ebene 2 vorkommenden Koalitionen verschieden sind.

Es kommen nur Knoten der Ebene 3 oder höher in Frage.

Jeder der p Knoten enthält eine Koalition S mit $|S| \geq ½ a$.
Zwei Koalitionen dieser Größe können auf Ebene 3 und höher nicht in einem Knoten vorkommen.

⇒ An Stelle der p ausgelassenen Knoten müssen mindestens p Knoten höherer Ebenen in N vorhanden sein.

Positive Interpretation der Ergebnisse

- Es genügt, einen bestimmten Teil der Koalitionsstrukturen zu untersuchen, um eine endliche worst-case Güte zu erhalten.
- Der Anteil zu untersuchender Knoten an der Anzahl aller Knoten des Graphen konvergiert mit steigender Agentenzahl a gegen 0: $n_{min} / m \rightarrow 0$, für $a \rightarrow \infty$, da $n_{min} = 2^{a-1}$ und $m = \Omega(a^{a/2})$.

Negative Interpretation

Man muß 2^{a-1} Knoten betrachten, um sicher eine Lösung mit endlicher Güte zu finden. Es gibt keine Polynomialzeit-Algorithmen mit garantierter Güte.

weitere Suche - Verbesserung der Güte

Algorithmus 1:

1. Durchsuche die Ebenen 1 und 2 des Koalitionsstruktur-Graphen.
2. Führe eine BFS-Suche von der obersten Ebene des Graphen durch.
3. Liefere die beste gefundene Koalitionsstruktur CS^*_N zurück.

Schritt 2 wird so lange fortgesetzt, wie noch Rechenzeit übrig und der Graph noch nicht vollständig durchsucht worden ist.

Es läßt sich zeigen:

Es bezeichne e die letzte Ebene, die Algorithmus 1 in Schritt 2 bereits vollständig durchsucht hat.

Es sei $h := \lfloor ½ (a - e) \rfloor + 2$.

Dann beträgt die aktuelle worst-case Güte:

$\lceil a/h \rceil$, falls $a \equiv h - 1 \bmod h$ und $a \equiv e \bmod 2$.
$\lfloor a/h \rfloor$, sonst.

Interpretation:

Die Betrachtung eines weiteren Knotens (=oberste Ebene) in Schritt 2 halbiert bereits die worst-case Güte auf ½ a.

Danach erhöht sich der Divisor alle 2 Ebenen um 1, wobei die oberen Ebenen nicht so viele Knoten wie die unteren Ebenen haben.

Fazit : Schritt 2 verringert die worst-case Güte recht schnell !

„Anytime“ Ansatz:

Bei Algorithmus 1 handelt es sich um einen Anytime Algorithmus.

Nach Schritt 1 kennt man bereits ein Lösung mit garantierter Güte a.

Danach wird eventuell noch verfügbare Zeit dazu genutzt, die worst-case Güte zu senken.

Der Algorithmus kann während des Schrittes 2 jederzeit abgebrochen werden.

Algorithmus 1 und andere Ansätze

1. **Breitensuche von oben nach unten**

   Problem: große Koalition taucht nur in Ebene 1 auf
   ⇒ garantierte Güte erst nach vollständiger Suche

   Auch falls zuerst Ebene 1 besucht wird:
   Koalitionen der Größe a–1 werden erst in Ebene 2 gefunden.
   ⇒ garantierte Güte erst nach fast vollständiger Suche

2. **„Splitting Algorithmus“: Breitensuche von unten nach oben**

   Anfang entspricht Schritt 1 aus Algorithmus 1
   ⇒ worst-case Güte von a nach Ebene 1 und 2

   Im weiteren Verlauf reduziert Algorithmus 1 die worst-case Güte
   (bis fast der ganze Graph durchsucht wurde) schneller.

Verteilte Suche

Es liegt nahe, die aufwendige Suche auf alle Agenten zu verteilen.

Problem: Eventuell divergieren soziales und persönliches Wohl !
Es kann für einen Agenten Vorteile bringen, das Protokoll zu verletzen.

Die verteilte Suche besteht aus folgenden Phasen:

- Entscheidung, welcher Teil des Graphen durchsucht werden soll
  z.B. Algorithmus 1

- Verteilung des Suchraums auf die Agenten

- Verteilte Suche

- Sicherheitsmaßnahmen zur Einhaltung des Protokolls

  Es werden zwei verschiedene Agenten i und j zufällig gewählt. Agent i bekommt die Aufgabe, das Ergebnis von Agent j zu überprüfen. Falls j betrügt, so muß dieser eine Strafe P an i zahlen.

- Weiterführende Suche

  Falls Algorithmus 1 verwendet wird könnten zuerst die Ebenen 1 und 2, falls noch Zeit übrig ist jeweils eine weitere Ebene parallel bearbeitet werden.

- Aufteilung des Gesamtnutzen

  Falls alle Agenten gleichermaßen vom Zugewinn profitieren, so wird das Protokoll auch ohne Sicherheitsmaßnahmen eingehalten.

Zusammenfassung

gegeben: Agentenmenge und Nutzenfunktion für Koalitionen

gesucht: eine möglichst gute Koalitionsstruktur

zentrale Ergebnisse :

1.) Wenn nicht mindestens exponentiell viele Knoten betrachtet werden, dann kann keine Lösung mit einer garantierten Güte gefunden werden.

2.) Das optimale Verfahren, um möglichst schnell eine Lösung mit garantierter Güte zu erhalten, lautet:

„Betrachte alle Koalitionsstrukturen mit höchstens 2 Koalitionen!“

Die kleinste obere Schranke für die Güte ist gleich der Anzahl der Agenten.

3.) Das Verfahren läßt sich zu einem Anytime Algorithmus erweitern:

„Führe anschließend eine BFS-Suche von der obersten Ebene im Koalitionsstrukturgraphen durch!“

Dieser Algorithmus verringert die worst-case Güte in der Anytime Phase recht schnell.